

浅層地下水の硝酸性窒素濃度分布に現れた不連続について

—福島盆地南部の扇状地地帯の事例—

豊 島 正 幸*

要 旨 窒素肥料の溶脱に伴う地下水の硝酸汚染の実態を把握するため、1997年9月に荒川扇状地地帯（福島盆地南部）の約90箇所で大井地下水を採取し、硝酸イオン濃度を測定した。この濃度分布図から、1) 扇状地地帯の上流側にまとまって分布する畑地（樹園地・草地を含む）が主たる窒素負荷源となっていること、2) この窒素負荷源地帯から下流方向へ濃度が急激に低下し不連続な濃度分布の形成されていることが明らかになった。

新たに作成した地下水面図に基づき推定した地下水流動系を考慮すると、濃度分布に現れたこの不連続現象は、上流側の畑地で窒素負荷を受けた地下水流（硝酸性窒素濃度 $5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）が、扇状地の中・下流部で合流する別系統の地下水流（硝酸性窒素濃度 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）により著しく希釈された結果であると理解された。

キーワード 地下水、地下水面図、硝酸汚染、畑地、扇状地

1. はじめに

飲料水や食物に含まれる硝酸性窒素は、体内に入った後に還元され亜硝酸性窒素に変わる。亜硝酸性窒素は血液中のヘモグロビンに作用し酸素輸送能力を低下させ（メトヘモグロビン血症）、チアノーゼ症状を引き起こすことが知られており、特に、胃の中の酸性度が低い乳幼児等において健康被害が懸念されている（国包，1996）。現在、わが国の水道水質基準では硝酸・亜硝酸性窒素の合計値として $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と定められており、諸外国でもほぼ同じ水準が採用されている。

近年、地下水における硝酸性窒素濃度の上昇が指摘され、特に、地下水を水道水源としている地域では深刻な問題となっている。1987年度から1991年度までの5年間に全国297箇所の農業用井戸を対象に実施された水質調査では、水田以外の土地利用（普通畑・樹園地・施設園芸・畜産）の地帯において硝酸性窒素濃度の高い傾向が認められた（農水省，1992）。また、平田（1996）の観測によれば、レタスやセロリなど高原野菜栽培地域で、上流側（林地・畑地）から下流側（畑地・

実験畑地）にかけて地下水の硝酸性窒素濃度が顕著な上昇を示し、施用された窒素肥料（年間 $500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ）の溶脱により地下水の硝酸性窒素濃度が $60 \sim 90 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度にまで達することが確認された。

岐阜県各務原台地のように、単位面積当たりの窒素肥料を減らす減肥対策の実施により、一時 $26 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後の値に達した硝酸性窒素濃度が $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 台にまで低下した事例はあるものの（寺尾，1996）、野菜類の1年多作や基肥中心の施肥体系の普及が無機化学肥料の投入量を増加させている現状においては、畑作地帯における地下水の硝酸汚染は今後ますます深刻化することが予想される。

窒素肥料による地下水汚染では、負荷源が畜舎・工場・家庭など点的である場合とは異なり、いわゆる面源負荷である場合が多い。したがって、地下水の硝酸汚染に対処するには、主として点源負荷を念頭に置いた従来の水質規制手法も再考する必要に迫られている（内藤，1998）。その際に基礎となるのは、硝酸性窒素濃度分布の形成される仕組みであり、これを明らかにするには、施肥量

* 岩手県立大学総合政策学部 〒020-0193 岩手県滝沢村滝沢字菓子

が多く負荷源となる可能性の高い土地利用種（畑地など）の分布・配置および浅層地下水の流動系に関するデータが不可欠となる。

本研究では、流域内の一部に畑作・果樹地帯がまとまって分布する福島盆地南部の荒川扇状地地帯を取り上げ、第1に、浅層地下水の硝酸性窒素濃度分布を明らかにする。第2に、地下水面図の作成等を通して予察される地下水流動に基づき同濃度分布現象の解釈を試み、当地域における地下水の硝酸汚染の仕組みを明らかにする。

2. 調査地域の地形概観と土地利用

調査対象地域は、福島盆地最南部を流れる荒川右岸の扇状地地帯である（第1図）。荒川扇状地面の勾配は、標高200mより上流部で19/1000と大きい値を示すが、中流部から下流部にかけては8/1000から4/1000程度にまで緩くなる。中・下流部のみならず上流部にも霞堤が多数築かれていることに象徴されるように、同扇状地は上流部でさえ洪水流の影響を未だに受ける地帯である。江戸時代（享保年間）には上流部（扇頂部）右岸側で破堤が起り、洪水流が扇状地を縦断したことが知られている（半沢，1992）。

上流部山寄りの地蔵原付近には、この扇状地面より古い時期に形成され段丘化した地形面（ここでは地蔵原面と呼ぶ）が存在する。両地形面の高度差（崖の比高）は上流側で6mに達し、下流方向へ減少する。なお、下流側には治水地形分類図（東北地方建設局福島工事事務所資料）にも表れているように、周囲より2m前後高い地形面が存在する。図中ではこの地形面を細破線で画した。

扇状地面と地蔵原面では土壌の種類が異なり、概ね扇状地面は褐色低地土壌・灰色低地土壌、地蔵原面は黒ボク土壌の分布域にそれぞれ対応する（鈴木ほか，1982）。

土地利用をみると、荒川からの導水が可能な扇状地面では水田の比率が高い。一方、上位の地蔵原面では畑地（コンニャク等）・果樹園（リンゴ、モモ等）・草地が卓越する。

3. 浅層地下水への窒素負荷の現状

1) 調査の方法

浅層地下水への窒素負荷の現状を知るため、調査地域内90余地点で地下水を採取し、同日中に硝酸イオン濃度をRQフレックス（MERCK社製）により計測した。帯水層を分ける粘土層の層準（東北農政局計画部，1978）から判断すると、井戸深度が50mを超える二、三の井戸を除き、採取したサンプルは不圧地下水とみなすことができた。

採水期間は1997年9月1日から5日間であり、はじめの3日間で全試料の83%を集めた。

2) 1997年9月の調査結果

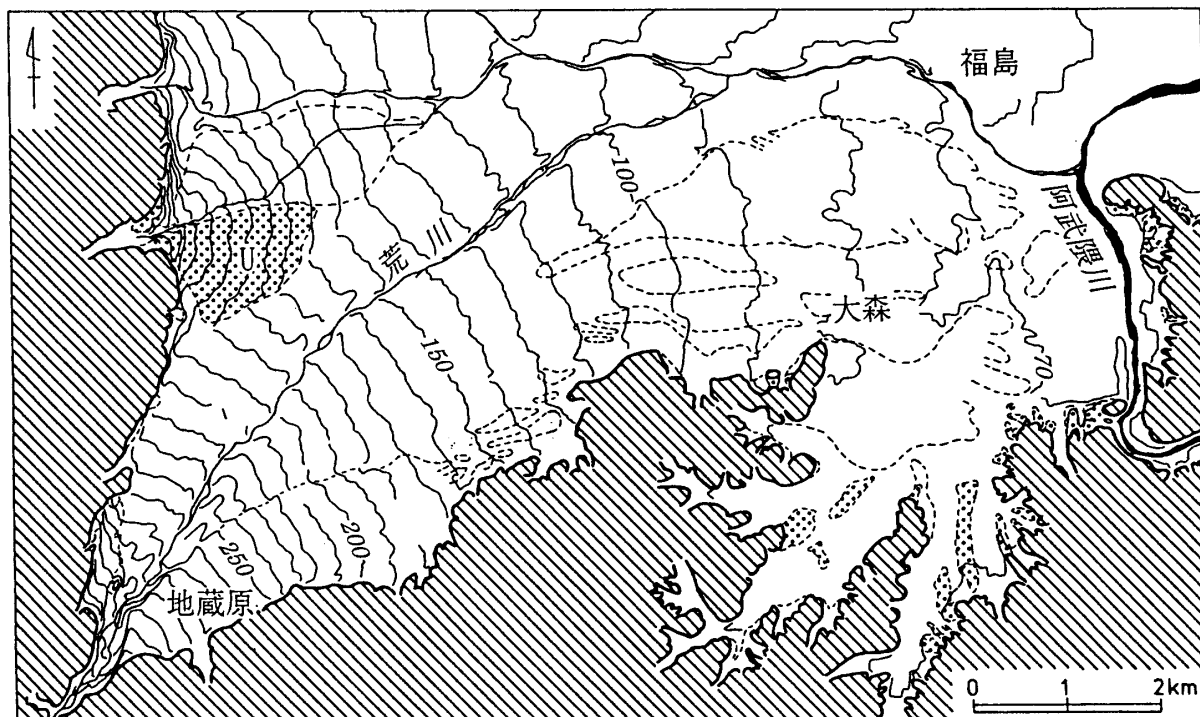
第2図は、測定された硝酸性窒素濃度を分布図として表したものである。同図から次の特徴が指摘できる。第1に、扇状地面より一段高い地蔵原面において $5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上の値を示す地点が多い（地点によっては $9\sim 10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の高濃度に達している）。第2に、この地蔵原面から下位の扇状地面に移ると濃度は $5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 未満の値にまで急激に低下する。第3に、濃度が $3\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上を示す地帯が地蔵原面（高濃度地帯）の下流側に舌状に延びている。なお、この舌状地帯の内部に $5\sim 7\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の地点が線状に並ぶが、これは上手側の畜産農家が大量の家畜糞尿を田畑に投入している事実と符合する。このような局所的な要因を除けば、硝酸性窒素濃度の分布は第3図のように簡略化できる。同図より、畑地・果樹園・草地が卓越する地蔵原面が面的な窒素負荷源になっていると判断され、また、その下流側の扇状地面では何らかの希釈作用の存在することが想定された。

次章では、上述の硝酸性窒素濃度分布を解釈するため、新たに作成した地下水面図から地下水流動を推定する。

4. 地下水面図からみた浅層地下水流動

1) 扇状地における浅層地下水の涵養源

本調査地域では、過去に既存の井戸を利用して地下水位の一斉調査が実施された（東北農政局計画部資源課，1964）。調査期間は1962年7月11日～21日である。当時は今日ほど大規模な土木工事

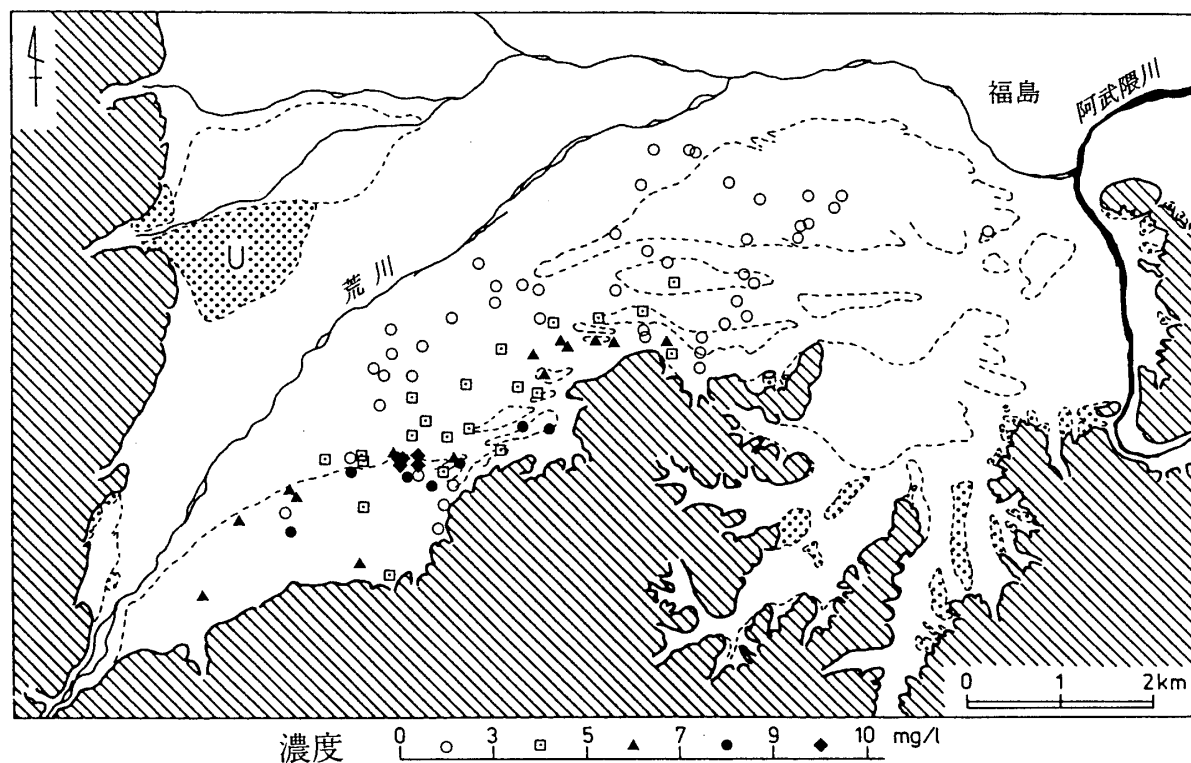


第1図 調査地域の地形等高線図

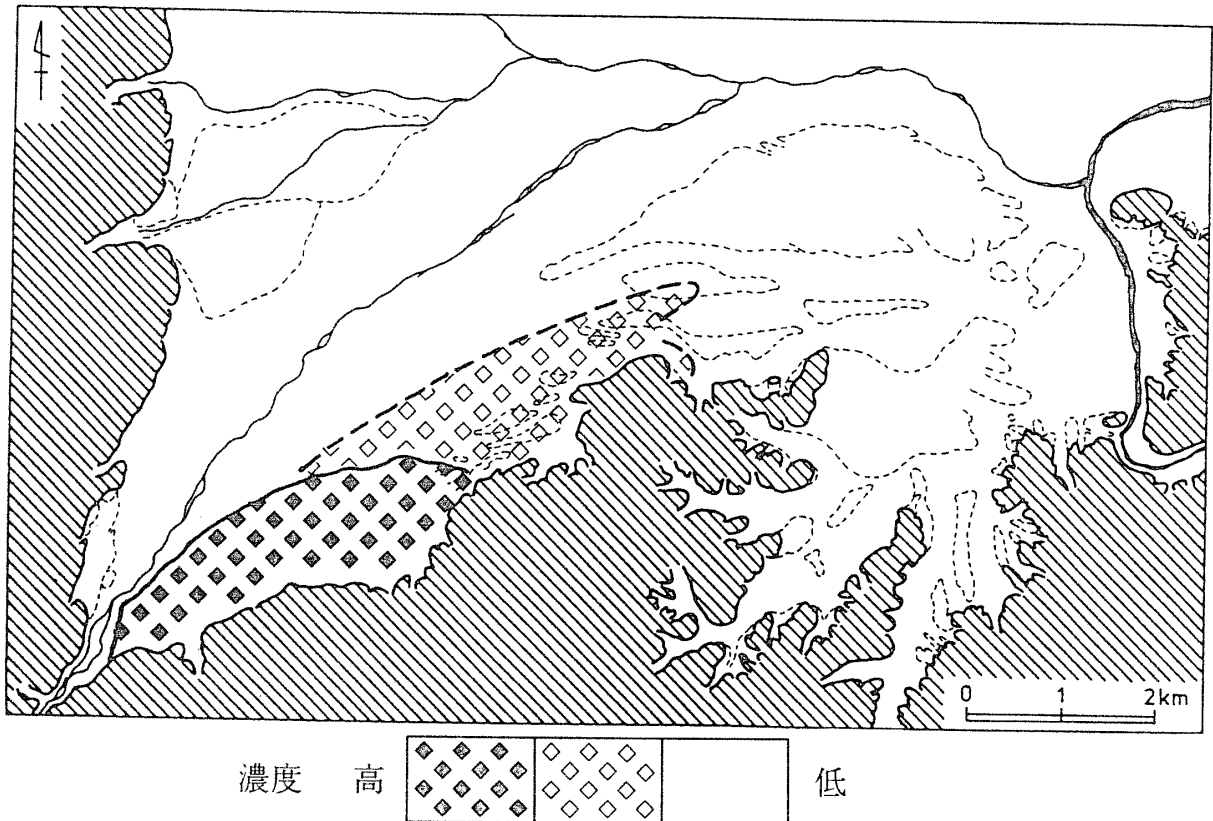
細破線で画された範囲：地藏原面およびその相当面

点部：台地（U） 斜線部：山地・丘陵地 その他の白地部：扇状地面

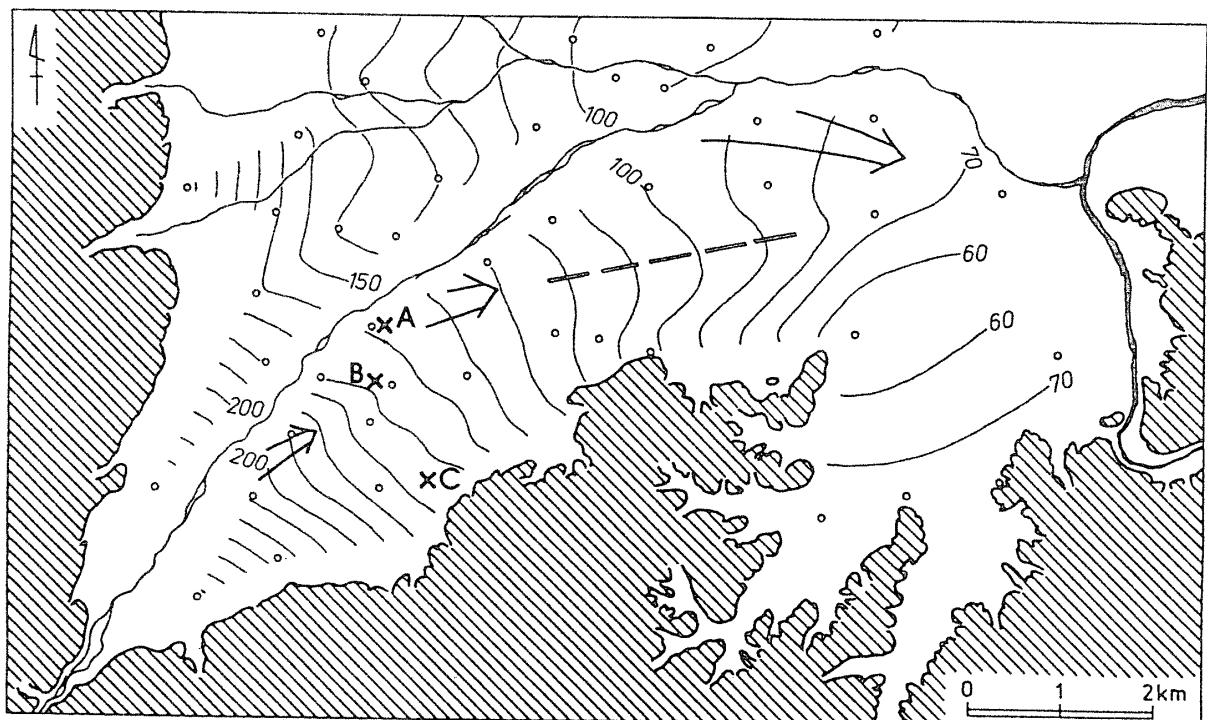
等高線は国土地理院発行地形図1/25,000「福島南部」「土湯温泉」「福島北部」および「板谷」の各図幅による。



第2図 浅層地下水の硝酸性窒素濃度の分布（1997年9月）



第3図 簡略化した硝酸性窒素濃度の分布 (1997年9月)



第4図 地下水面図 (地下水位の観測期間: 1962年7月11~21日)
 東北農政局計画部資源課 (1964) の資料を基に作成 (豊島, 1998).
 等値線の数字: 地下水面の標高 (m) 丸印: 地下水位の観測井戸
 矢印: 荒川河川水の主要な流入経路 太破線: 地下水嶺
 A~C は第5図と対応

が行われていないため、自然状態に近い地下水面の形状を知ることができる。帯水層を分ける粘土層の層準（東北農政局計画部，1978）と井戸の深さから、いずれの井戸においても不圧地下水と判断された。

豊島（1998）はこの調査資料に基づき地下水面図を作成し（第4図）、次の特徴を指摘した。第1に、120～80mの等値線（地下水面）が下流方向へ凸形を呈し、しかも、それらが一つの線上に配列することである。すなわち、この線上の地帯では地下水面高度が周囲より嶺状に高く、地下水嶺が形成されている（第4図中の太破線）。第2は、200～190m、150～130mおよび90～80mの各等値線が荒川右岸寄りでは等値線間隔が広がることであり、図中の矢印で示されるように、主に上記3高度帯から荒川河川水が扇状地堆積層へ流入していることが推定される。荒川河川水の主要流入経路のひとつが上述の地下水嶺に連なることが注目される。

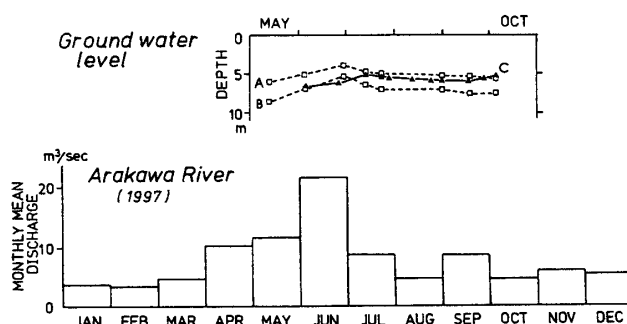
このように、地下水面図より、扇状地面下の浅層地下水の涵養には荒川河川水が大きく関わっていることが明らかになった。荒川河川水の硝酸性窒素濃度は $0.2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ （7月17・20日測定）と低いため、扇状地堆積層への同河川水の流入は大きな希釈効果をもたらすことが十分に期待される。したがって、硝酸性窒素濃度が地蔵原面から扇状地面へ至って急激に低下する現象は、この荒川河川水による希釈作用の結果と判断された。

2) 地下水位の変化と荒川の流量変化

前項で述べたように、扇状地面下の浅層地下水が主として荒川河川水により涵養されているならば、荒川の流量変化と地下水位の変化は同調することが予想される。このことを確かめるため、扇状地面に位置する2箇所の井戸で1997年5月から10月にかけて地下水位変化を観測した（第5図）。荒川の流量に関しては、東北地方建設局福島工事事務所による観測データを用いた。なお、比較のため、扇状地面より一段高い地蔵原面に位置する井戸においても地下水位を観測した。

地下水位の観測結果から、扇状地面に位置する

地点（AおよびB）において地下水位のピークが6月に現れ、荒川の流量が増加する時期と一致することがわかる。この事実は、扇状地面下の浅層地下水の主たる涵養源が荒川河川水であるとする先の推定を裏づけるものである。なお、地蔵原面の地点Cでは地下水位のピーク時期が地点A・Bより明らかに遅れており、荒川とは異なる涵養源（南側の山地・丘陵地）を有することが示唆される。



第5図 地下水位および荒川の流量変化（1997年）
地下水位の観測地点（A,B,C）の位置は第4図参照。
荒川流量観測地点（八木田橋）は阿武隈川合流点から上流1.7kmに位置する。

5. まとめと今後の課題

調査地域における硝酸性窒素濃度の分布現象は次のように説明することができる。上流側の段丘面（地蔵原面）の範囲は畑作・果樹が優占し、施肥を通して面的な窒素負荷源となっている。この範囲から下位の扇状地面へ流出する硝酸イオン濃度の高い地下水は荒川河川水起源の地下水流により著しく希釈され、これが濃度分布に顕著な不連続として現れるのである。

現在、扇状地面における硝酸性窒素濃度は、畜産等の局所的要因を除けば概ね $5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 未満のレベルにある。当地域における地下水水質を悪化させないための一つの方策は、希釈作用を発揮している荒川河川水起源の地下水流動を維持することである。このためには、扇状地面において上記地下水流動を遮断するような大規模な土木工事を行わないことに留まらず、涵養源である荒川の流量減少を招かないように流域全体の保全まで射程に

入れることが肝要と考える。

当地域の地下水流動に関する今後の課題として、地下水面図に現れた地下水嶺や出現高度を異にする湧泉帯（豊島，1998）の成因の解明が挙げられる。この課題について、地形学的手法（豊島，1994，1995；豊島ほか，1998）を導入し明らかにしていきたい。

なお、1999年2月22日付の官報第2570号によれば、環境庁告示第16号により「地下水の水質汚濁に係る環境基準」の一部が改正され、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は、ほう素・フッ素とともに環境基準健康項目へ追加されたことを付記する。

謝辞

本稿は、前職の東北農業試験場畑地利用部で実施した経常研究「浅層地下水の水質モニタリングのための地下水域推定手法」の成果の一部である。研究課題の設定および調査遂行に当たり有益な議論をして頂いた飯塚隆治部長や渡邊好昭室長をはじめ畑地利用部の皆様に厚く御礼申し上げる。

文献

国包章一（1996）：硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の健康影響。水環境学会誌，19，965-968
鈴木平喜・菅野義忠・今井辰雄・渡辺次郎（1982）：

5万分の1土壤図「福島」。福島県編：「土地分類基本調査 福島」

寺尾 宏（1996）：畑作地帯の硝酸性窒素による地下水汚染と軽減対策。岐阜県各務原台地における汚染事例－。水環境学会誌，19，956-960

東北農政局計画部資源課（1964）：昭和36～37年度農業用大規模地下水調査報告書（福島盆地）

東北農政局計画部（1978）：福島県水文地質図集。農業用地下水調査 山形・福島地区調査報告書。

豊島正幸（1994）：地形分析による扇状地堆積層の透水性予測法。地理学評論，67巻，126-136

豊島正幸（1995）：マルチスケール地形分類法による紫波扇状地の水文地形の検出。地理学評論，68巻，322-338

豊島正幸（1998）：福島盆地南部，荒川扇状地地帯にみられる特徴的な湧泉分布と地下水嶺。福島地理論集，41号，43-47

豊島正幸・山本勝利・中井 信（1998）：低地の浅層地下水流動を規制する地形の配置様式とその変異。東北農業試験場研究報告，93号，107-130

内藤 馨（1998）：硝酸性窒素に関する水質基準の動向と農業・農村との関連。農業技術，53，49-52

農水省（1992）：平成3年度農業用地下水の水質の実態。農水省構造改善局計画部資源課

半沢光夫（1992）：半沢光夫の福島発・歴史地図（上巻）。ナカガワ出版

平田健正（1996）：硝酸性窒素による地下水汚染。水環境学会誌，19，950-955

（1999年5月19日受理）

Distribution of Nitrate Concentration in Groundwater and Its Flow System

Masayuki TOYOSHIMA

Summary A newly constructed pollution map of nitrates produced in fertilizer nitrogen leaching shows that clusters of uplands in the proximal fan of the Arakawa River are pollution sources and that nitrate concentration abruptly decreases from the middle fan. Given groundwater flow system determined from a water table map, we concluded that the drop lowering in concentration resulted from dilution associated with the confluence of other groundwater flow originating in the Arakawa River, whose nitrate-concentration was very low.

Key words Groundwater, Water table map, Nitrate pollution, Upland, Alluvial fan